

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

AKTIS

L'actualité de la recherche à l'IRSN

N° **24**
septembre 2016

FOCUS

LA RPE, *une technique
de DOSIMÉTRIE RAPIDE
en plein développement*



APPLICATIONS

Étalonner
les instruments
de mesure
du thoron



FORMATION

Le scanner accroît-il
le risque de cancer
pour les enfants ?

MESURER POUR AGIR, MESURER POUR COMPRENDRE



© Antoine Bonvaillant/RSX

La mesure des rayonnements ionisants, l'identification des traces laissées dans la matière ou le vivant par les radionucléides, est un pilier fondamental de l'expertise scientifique de l'IRSN au service de la gouvernance des risques nucléaires et radiologiques.

Plusieurs articles de ce numéro permettent d'approcher différents volets des enjeux – toujours scientifiques – sous-jacents : métrologiques (mise au point d'un nouvel étalon), méthodologiques et tech-

nologiques (focus sur la résonance paramagnétique électronique et recherche de protocole de mesure rapide en alpha et beta), compréhension et identification des risques (strontium 90 et système immunitaire). Qu'elle vise le raffinement d'une capacité de détection, le pistage d'un radionucléide, ou la rapidité pour appuyer, avec une précision suffisante, les bonnes prises de décision, la mesure soutient aussi bien la compréhension que l'action. Sa pertinence s'adosse à un travail inlassable et renouvelé d'identification des ressorts scientifiques qui la sous-tendent.

La reconnaissance de cette expertise confère d'ailleurs à l'IRSN un rôle de référent national dans différents processus d'agrément par l'État de laboratoires qui participent à la veille permanente en radioprotection. Ces quelques illustrations montrent qu'elle puise sa source dans un souci permanent d'amélioration des connaissances et d'allers-retours réguliers entre l'interrogation scientifique et l'expertise de terrain.

Matthieu Schuler,

Directeur de la stratégie, du développement et des partenariats

Aktis est la lettre d'information scientifique de l'IRSN. Elle présente les principaux résultats de recherches menées par l'Institut dans les domaines de la radioprotection, de la sûreté et de la sécurité nucléaire. Trimestrielle et gratuite, elle existe aussi en version électronique sur abonnement. Éditeur IRSN - standard : +33 (0)1 58 35 88 88 - www.irsn.fr - Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel - Directeur de la rédaction : Matthieu Schuler - Rédactrice en chef : Sandrine Marano - Comité de lecture : Giovanni Bruna, Matthieu Schuler - Comité éditorial : Gauzelin Barbier, Giovanni Bruna, Aleth Delattre, Jean-Michel Evrard, Christine Gouedranche, Pascale Monti, Audrey de Santis, Matthieu Schuler - Rédaction : Sandrine Marano - Réalisation : www.grouperougevilfr - 24351 Impression : Idéale Prod, certifiée Imprim'Vert - ISSN : 2110-588X - Droits de reproduction sous réserve d'accord de notre part et de mention de la source. Conformément à la loi N° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel et modifiant la loi N° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, tout utilisateur ayant déposé des informations directement ou indirectement nominatives, peut demander la communication de ces informations et les faire rectifier le cas échéant.



SOMMAIRE

ÉDITO

Matthieu Schuler

APPLICATIONS DE LA RECHERCHE

PAGE 3

- Nouveau protocole de mesure rapide des émetteurs alpha et bêta
- Étalonner les instruments de mesure du thoron

FOCUS

PAGE 5

La RPE, une technique de dosimétrie rapide en plein développement

FORMATION PAR LA RECHERCHE

PAGE 8

- Le scanner accroît-il le risque de cancer pour les enfants ?
- Exposition chronique à faible dose au strontium 90 et système immunitaire
- Modéliser le refroidissement d'une gaine lors d'un RIA

VIE DE LA RECHERCHE

PAGE 11

- Prix
- Soutenances : thèses et HDR
- Séminaire
- Publication

Glossaire ^{GL0}

PAGE 12

Photo de couverture - Dessiccation des ongles avant la mesure dans le spectromètre de RPE
© Francesco Acerbis/IRSN

NOUVEAU PROTOCOLE de mesure rapide des émetteurs ALPHA ET BÊTA

Le risque sanitaire encouru par les populations en cas d'accident radiologique, comme à Fukushima ou Tchernobyl, doit être évalué rapidement. Celui-ci résulte de la dose de rayonnements reçue. Pour les émetteurs de rayonnements alpha et bêta, un nouveau protocole de mesure rapide a été mis au point durant une thèse.

Le risque encouru par la population après un accident nucléaire résulte des rayonnements alpha, bêta et gamma émis par les dépôts dans l'environnement. Le rayonnement gamma, très pénétrant^{GL0}, peut être mesuré rapidement *in situ* ou en laboratoire. En revanche, les rayonnements alpha et bêta⁽¹⁾ étant peu pénétrants, ils sont évalués en quantifiant les radionucléides émetteurs par l'analyse chimique d'échantillons ; or les protocoles existants⁽²⁾ sont très performants mais très longs (plusieurs semaines).

Une thèse a été menée par Azza Habibi à l'IRSN pour mettre au point un protocole de mesure simplifié pour 16 radionucléides⁽³⁾ (actinides et strontium 90), en améliorant les délais tout en conservant des performances satisfaisantes au regard des besoins de gestion d'une situation d'urgence.

Composants indésirables

Questionnant chaque étape des protocoles classiques, A. Habibi a identifié des techniques alternatives plus rapides pour la préparation chimique préalable à la mesure pour des échantillons liquides (jusqu'à 500 g) et solides (0,5 g). Ainsi, à la place de la technique classique de minéralisation^{GL0} (échantillon solide dans solution acide et plaque chauffante) qui nécessite trois jours, elle a choisi la fusion alcaline (échantillon dans sel fondant entre 800 °C et 1 100 °C) opérable par des appareils automatiques en 20 minutes, avec cependant une limite de détection plus élevée. De même, elle a choisi la coprécipitation simultanée des actinides et du strontium avec le phosphate de calcium, ce qui permet d'éliminer une grande partie des composants indésirables de l'échantillon (métaux et anions).



Chromatographie liquide (Dionex/ThermoFisher) couplée à l'ICP-MS : X-SERIES II (ThermoFisher).

© A. Habibi

Enfin, A. Habibi a sélectionné la chromatographie liquide pour séparer les actinides et le strontium entre eux et du reste des composants indésirables. Un protocole utilisant trois résines différentes a été mis au point, testé et surtout automatisé à l'aide d'un module de chromatographie liquide piloté par un logiciel *ad hoc* (Chromeleon®), d'où un gain de temps et de manipulations. Cette étape de séparation a été couplée directement à la mesure, en associant le module à un ICP-MS^{GL0}. Étape majeure de ce travail, ce couplage permet de gagner en temps et un facteur 20 en sensibilité lors de l'analyse d'échantillons solides. Les performances du protocole ont été optimisées et permettent de quantifier en moins de deux heures les actinides ainsi que le strontium 90 dans des échantillons liquides. Pour le strontium 90 dans des échantillons solides, la limite de détection est dans certains cas plus élevée ; la mesure est alors fournie par compteur proportionnel à gaz en huit heures. Le protocole de mesure simplifié et rapide ainsi mis au point a montré sa fiabilité sur différents échantillons.

Laboratoire de radioécologie de l'Université Laval (Québec, Canada)

CONTACT

Rodolfo Gurriaran
rodolfo.gurriaran
@irsn.fr

Laboratoire de mesure de la radioactivité dans l'environnement - LMRE

⁽¹⁾ Ils présentent surtout un risque lors de l'incorporation des radionucléides émetteurs, soit par inhalation, soit par ingestion via l'alimentation.

⁽²⁾ Protocoles maîtrisés par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance de l'environnement.

⁽³⁾ Radionucléides les plus courants lors des accidents connus, ²³⁵U, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁸U, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Pu, ²³⁷Np, ²⁴¹Am, ²⁴³Am, ⁹⁰Sr, ainsi que ²²⁹Th, ²³⁰Th, ²³²Th

PUBLICATION

• *Analyse rapide des actinides par couplage chromatographie liquide/ICP-MS et de ⁹⁰Sr par compteur proportionnel à gaz, dans les échantillons de l'environnement, en situation post-accidentelle*, thèse soutenue 7 décembre 2015 par Azza Habibi à Paris, université Pierre et Marie Curie.



ÉTALONNER les instruments de mesure du THORON

 CEA/
LNE-LNHB
(Laboratoire national
Henri Becquerel);
European Metrology
Research Program
(EMRP)

CONTACT

Nathalie Michielsens
nathalie.michielsens
@irsn.fr

Laboratoire de physique
et de métrologie
des aérosols - LPMA

⁽¹⁾ Le radon, seconde cause de cancer du poumon, après le tabac (OMS, 2009), fait l'objet de contrôles dans les bâtiments de certaines zones géographiques en raison du risque sanitaire qu'il présente pour les populations ou les travailleurs.

PUBLICATIONS

• *Étalonnage des instruments de mesure de l'activité volumique du thoron (²²⁰Rn) dans l'air*, thèse soutenue par Benoît Sabot le 25 novembre 2015 à Gif-sur-Yvette.



• Sabot B. et al.
« Development of a primary thoron activity standard for the calibration of thoron measurement instruments ». *Radiation Protection Dosimetry*, 2015, 167, 70-74.

• Sabot B. et al.
« A new thoron atmosphere reference measurement system ». *Applied Radiation and Isotopes*, 2016, 109, 205-209

Le radon est contrôlé dans les lieux de travail des régions où il est fortement présent. Or les appareils de mesure de l'un de ses isotopes, le thoron, ne disposent pas d'étalonnage. Une thèse vient de créer une référence métrologique.

L'isotope 220 du radon⁽¹⁾, le thoron (²²⁰Rn), présente un risque pour les travailleurs, notamment lorsqu'ils se trouvent à proximité d'une source de thorium. De plus, sa présence peut induire un biais dans la mesure du radon, ce qui suppose une mesure séparée. Cette dernière souffrait jusqu'à présent de l'absence de moyens d'étalonnage des dispositifs employés, d'où une thèse visant à développer un dispositif de mesure de référence qui permettra d'étalonner les instruments de mesure de l'activité volumique du thoron.

Capter les descendants

Le doctorant Benoît Sabot a développé un dispositif constitué d'un conteneur, délimitant un volume de mesure, et d'un détecteur alpha à base de silicium. La première étape de l'étude a eu pour objectif d'optimiser la géométrie du dispositif de mesure afin que le gaz prélevé s'y répartisse de façon homogène. Cette optimisation a été réalisée à l'aide de simulations numériques (logiciel MCNPX^{GL0}), qui ont été aussi utilisées pour évaluer le rendement du détecteur.

Par ailleurs, l'aérosol nanométrique composé des descendants solides émetteurs alpha du thoron doit être concentré sur une zone qui facilite la discrimination de leur spectre par rapport à celui du thoron. En utilisant les propriétés électrostatiques particulières des descendants, le doctorant a réussi à les capturer à la surface du détecteur à l'aide d'un champ électrique. Des simulations numériques (plateforme Comsol Multiphysics^{GL0}) ont permis de définir un champ électrique adapté. Le dispositif ainsi obtenu permet de mieux différencier les différents pics du spectre mesuré : à pression atmosphérique le thoron produit un large pic alpha, alors que les descendants (²¹²Po, ²¹⁶Po et ²¹²Bi) capturés à la surface du détecteur produisent des pics étroits. Ce procédé de mesure étant aussi utilisable pour l'activité volumique du radon, une validation a pu en être réalisée à l'aide de l'étalon de radon.



Dispositif mis au point par B. Sabot.
© IRSN

Benoît Sabot a ensuite conçu une électronique adaptée aux caractéristiques du détecteur et permettant de disposer d'un système transportable. Ce dernier permet de mesurer l'activité volumique d'une atmosphère de thoron avec une incertitude-type relative de 1%. C'est cet instrument associé à l'étalon de radon qui compose l'étalon de thoron. Il a été comparé à un autre étalon de thoron en développement au sein de l'ENEA^{GL0} en Italie. Les résultats ont montré l'efficacité du système qui sera intégré au banc BACCARA^{GL0} utilisé à l'IRSN pour étalonner les instruments de mesure du radon. Ces travaux ont pour partie été réalisés dans le cadre du projet de recherche métrologique européen MetroNORM.

LA RPE, une technique de DOSIMÉTRIE RAPIDE en plein développement

En cas d'accident radiologique, la caractérisation de l'exposition aux rayonnements des personnes concernées, et l'évaluation de la dose reçue, sont un point clé pour la prise en charge des victimes. Il entre pleinement dans les missions de l'IRSN de développer et mettre en œuvre des outils et des méthodes permettant de la faire en vue d'apporter une aide pertinente aux autorités chargées de gérer ces situations. L'une des techniques exploitées dans cet objectif est la spectroscopie par résonance paramagnétique électronique ou RPE. Cette technique a fait ses preuves pour de nombreuses expertises et son champ d'application est régulièrement étoffé sur la base des recherches menées à l'IRSN. Ainsi, au cours de ces cinq dernières années, de nouveaux protocoles ont été mis au point permettant d'estimer la dose à partir de prélèvements d'ongles, de quantités d'échantillons d'émail dentaire très réduites, ou de verres de téléphones portables. Certaines approches, avec des temps d'analyse courts, permettraient d'augmenter considérablement les capacités de mesure de l'IRSN en cas d'accident de grande ampleur.



Échantillon d'ongle placé dans un tube positionné dans le spectromètre de RPE.

© Francesco Acerbis/IRSN

La résonance paramagnétique électronique désigne la propriété de certains électrons à absorber, puis réémettre l'énergie d'un rayonnement électromagnétique lorsqu'ils sont placés dans un champ magnétique. Seuls les électrons non appariés (dits célibataires), présents notamment dans les espèces chimiques radicalaires, présentent cette propriété. Les rayonnements ionisants créent des radicaux libres dont le nombre est proportionnel à la dose de rayonnements absorbés dans le matériau touché, il est donc possible d'estimer une dose de rayonnements en quantifiant les radicaux libres produits.

Des radicaux spécifiques à l'irradiation

Cette technique de dosimétrie était jusqu'à il y a peu principalement utilisée dans le cas d'irradiations très localisées (radiothérapie, chirurgie interventionnelle, manipulation de sources radioactives...), sur des prélèvements d'os collectés au moment d'un acte chirurgical, ce qui a parfois permis de définir ou d'adapter la stratégie thérapeutique.

Naval Dosimetry Center (US Navy), Uniformed Services University of the Health Sciences (Bethesda, MD, USA), REAC/TS - Oak Ridge Institute for Science and Education (USA), Hôpital d'Instruction des Armées, services d'hématologie, de chirurgie plastique et CTS (Clamart, France), Laboratoire de spectrochimie infrarouge et Raman - université de Lille (France), Laboratoire de chimie de la matière condensée de Paris - CNRS - UMR 7574 - ENSCP (Paris, France), Laboratoire de Chimie Biochimie Pharmacologiques et Toxicologiques - université Paris Descartes (France), Laboratoire des solides irradiés - CNRS - école Polytechnique, (France), Université catholique de Louvain, Louvain Drug research Institute, Biomedical Magnetic Resonance unit & Medicinal Chemistry and Radiopharmacy unit (Belgique), partenaires de l'intercomparaison MULTIBIDOSE

CONTACT

François Tromprier
francois.tromprier@irsn.fr

Laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants - LDRI

⁽¹⁾ Référence du brevet : WO2015091767 (A1) - 2015-06-25.

⁽²⁾ Référence du brevet : WO2016055315 (A1) - 2016-04-14.

PUBLICATIONS

• Tromprier F. *et al.*
« State of the art in nail dosimetry: free radicals identification and reaction mechanisms » *Radiation and Environmental Biophysics* (2014) Volume 53, Issue 2, pp 291-303.



• Tromprier F. *et al.*
« EPR retrospective dosimetry with fingernails: report on first application cases » *Health Physics* 2014 Jun;106(6):798-805.



• Romanyukha A. *et al.* « Electron paramagnetic resonance radiation dose assessment in fingernails of the victim exposed to high dose as result of an accident. » *Radiation and Environmental Biophysics*, 2014 Nov;53(4):755-62.



Dessiccation des ongles avant la mesure.

© Francesco Acerbis/IRSN

Cette application présente cependant deux inconvénients : d'une part le prélèvement est invasif et d'autre part il est parfois réalisé longtemps après l'irradiation accidentelle. Or, l'information sur la dose reçue est d'autant plus pertinente pour la prise en charge médicale qu'elle est disponible rapidement. D'autres approches ont donc été étudiées. Comme une proportion importante des accidents concerne des irradiations localisées aux mains, une dosimétrie sur la base d'une RPE sur les ongles a été envisagée, mais sans réel succès jusqu'à une thèse menée à l'IRSN, et soutenue en 2012. Elle a permis la mise au point d'une méthode de mesure RPE des ongles et a fait l'objet d'un dépôt de brevet⁽¹⁾. Ces travaux ont permis de discriminer les signaux du spectre RPE correspondant à des radicaux issus du stress mécaniquement provoqué par le prélèvement (*mechanically induced signals* – MIS), ceux intrinsèques à l'ongle ou provoqués par la présence d'un autre matériau comme du vernis, et ceux induits par l'irradiation (*radiation induced signals* – RIS). Parmi tous ces radicaux, ceux spécifiques de l'irradiation et suffisamment stables ont été identifiés et un protocole expérimental pour les doser a été mis au point. Il repose sur la particularité de ce signal à saturer à un niveau d'irradiation compris entre 15 et 55 grays, qui dépend de chaque individu. En irradiant le prélèvement d'ongle jusqu'à sa saturation, l'irradiation initiale est obtenue à partir de la dose nécessaire pour parvenir à cette

saturation (voir *Aktis* n°10). Ceci a permis de réaliser une première série d'expertises pour le compte de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA) et du Radiation Emergency Assistance Center, Training Site (REAC/TS, programme du département de l'énergie américain – DOE) dans le cas d'un accident survenu au Pérou (2012). L'analyse des ongles a montré que les niveaux d'exposition étaient beaucoup plus élevés qu'attendus pour les trois victimes. Les doigts les plus irradiés ont ainsi pu être identifiés avant même l'apparition des signes cliniques. Les doses étant très élevées, plusieurs amputations ont dû être réalisées par l'Hôpital d'instruction des Armées Percy (Clamart – France). Suite aux amputations, l'analyse des os des phalanges par RPE a confirmé les niveaux de doses estimés sur les ongles.

Quelques milligrammes d'émail

La dosimétrie par RPE est également utilisée sur des échantillons d'émail dentaire, pour des irradiations importantes, supérieures à quelques dizaines de milliGray. Elle nécessitait jusqu'alors des quantités d'émail importantes, de quelques dizaines à quelques centaines de milligrammes, en raison de l'intensité des ondes utilisées dans le spectromètre RPE de façon nominale. Les chercheurs de l'IRSN sont parvenus à réduire notablement les prélèvements nécessaires à une analyse

en utilisant le spectromètre à une bande de fréquences trois fois plus élevées que la bande nominale. Ils ont établi un mode opératoire permettant un réglage fin, qui permet d'obtenir une mesure reproductible dans ce domaine de fréquence où la mesure était jusque-là réputée non reproductible. Les quantités d'émail dentaire nécessaires sont de l'ordre de quelques milligrammes. Ce savoir-faire a permis de réaliser des expertises impossibles jusqu'à présent.

Le prélèvement de quelques milligrammes d'émail dentaire permet d'estimer des doses reçues assez faibles, jusqu'à un seuil de détection à 200 mGy. Comme cette approche est très peu invasive, elle a pu être utilisée pour des victimes d'irradiation aiguë, mais également dans le cas de suspicion d'irradiation. Une dizaine d'expertises ont ainsi été menées. Cette analyse réalisée en laboratoire est de plus très rapide (inférieure à 5 minutes), et la capacité de mesure actuelle du laboratoire dépasse 100 échantillons par jour. Une telle technique pourrait donc être utilisée pour évaluer l'irradiation d'un grand nombre de personnes.

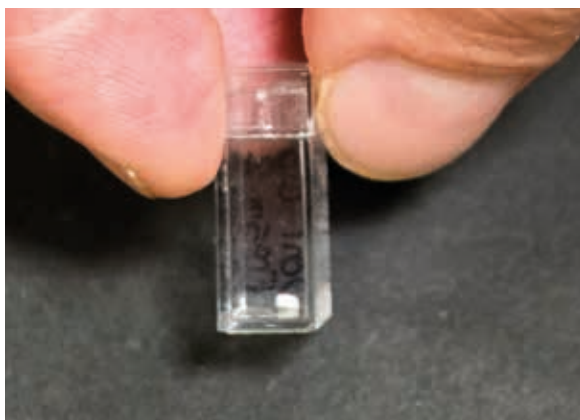
Spectre RPE des verres d'écrans tactiles

Dans l'optique de disposer également de capacités de mesure dosimétriques sur le terrain, d'autres approches ont été étudiées en parallèle, notamment les verres des écrans tactiles des téléphones portables qui gardent la mémoire d'une irradiation sous la forme de défauts mesurables par RPE. Ils pourraient être considérés comme une sorte de dosimètre individuel.



Antenne de surface permettant une mesure RPE du verre du portable sans avoir à démonter le téléphone.

© Francesco Acerbis/IRSN



Exemple d'échantillon d'émail dentaire utilisé à l'IRSN pour évaluer par RPE la dose reçue.
© Francesco Acerbis/IRSN

La méthode de l'étude est sensiblement la même que pour les ongles : le spectre RPE des verres a été étudié et leur origine discriminée en composantes instables, parasites et stables induites par irradiation. À l'initiative de l'IRSN, cette approche a été développée dans le cadre du projet européen Multibiodose et une première comparaison de mesures a été organisée avec 13 laboratoires.

L'exercice a montré que l'ensemble des laboratoires avait le niveau de compétences requis pour ce type d'analyse après une formation de deux jours dispensée à l'IRSN. Cette approche nécessite cependant le démontage de l'écran, étape chronophage qui rend le téléphone hors service (même s'il est réparable).

C'est pourquoi, l'IRSN cherche à développer des méthodes non destructives de mesure. Un brevet a déjà été déposé par l'IRSN pour la mesure RPE non destructive sur les verres de téléphones à l'aide d'une antenne de surface qui permet de mesurer l'absorption d'énergie par le verre et de générer le spectre RPE⁽²⁾. La méthode n'étant cependant pas encore assez sensible, un projet de recherche exploratoire va être lancé pour développer un spectromètre portable et de nouvelles approches de traitement du signal, permettant à des non-experts d'effectuer les mesures sur le terrain.

Au fur et à mesure de ces nouveaux résultats, la RPE confirme donc son intérêt dans l'arsenal de techniques dont dispose l'IRSN pour évaluer les doses reçues par les personnes en situation accidentelle, tant en cas de fortes doses que de faibles doses.

PUBLICATIONS

• Fattibene P. *et al.*
« EPR dosimetry intercomparison using smart phone touch screen glass. »
Radiation and Environmental Biophysics, 2014 May 53(2):311-20.

• Trompier F. and Romanyukha A. « Large scale dosimetry based on EPR spectroscopy: Evaluation of Q-band EPR on tooth enamel mini-biopsies »
Global Conference on Radiation Topics (ConRad) 2015, 4-7 May 2015 at Munich, Germany.



LE SCANNER *accroît-il le RISQUE DE CANCER pour les enfants?*

 Société francophone d'imagerie pédiatrique et prénatale, Institut Curie, Registre national des tumeurs de l'enfant, National Institute of Health (Bethesda, USA), 21 centre hospitaliers universitaires

CONTACT

Dominique Laurier
dominique.laurier@irsrn.fr

Laboratoire d'épidémiologie - Lepid

⁽¹⁾ Rapport « ExPRI » relatif à l'exposition de la population française aux rayonnements ionisants liés aux actes de diagnostic médical en 2012.

⁽²⁾ Pearce *et al.*, 2012 ; Mathews *et al.*, 2013.

⁽³⁾ Date de sortie de la cohorte 31 décembre 2011 ou décès ou premier diagnostic de cancer ou 15^e anniversaire.

⁽⁴⁾ Accord CNIL DR-2011-141, 26 avril 2011

PUBLICATIONS

• *Analyse de la relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants lors d'exams de scanographie et la survenue de pathologies tumorales au sein de la cohorte « Enfant Scanner »*, thèse soutenue par Neige Journy le 14 novembre 2014 à l'hôpital Paul Brousse de Villejuif.

• Journy N. *et al.* « Are the studies on cancer risk from CT scans biased by indication? Elements of answer from a large-scale cohort study in France », *British Journal of Cancer* (2015), 112(i): 185-93.

• Journy N. *et al.* « Childhood CT scans and cancer risk: impact of predisposing factors for cancer on the risk estimates. » *J Radiol Prot* 2016; 36: N1-7

Les examens scanner apportent plus de 70 % de la dose de rayonnements ionisants reçue lors des examens diagnostics médicaux⁽¹⁾ par la population française. L'Institut a lancé une étude sur les risques à long terme liés à l'utilisation de ce type d'examen chez les enfants.

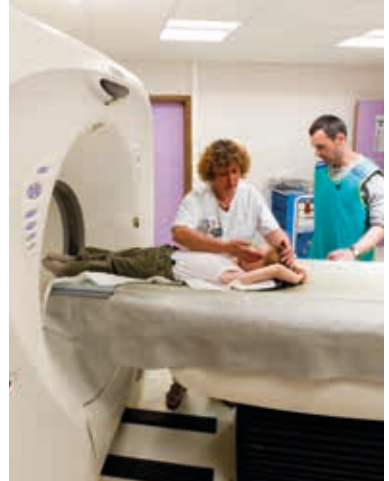
La scanographie est de plus en plus utilisée en raison de sa précision dans l'arsenal diagnostic de la médecine. Elle est cependant beaucoup plus irradiante que l'imagerie conventionnelle, et elle doit donc, comme tout acte de radiologie, faire l'objet d'une évaluation bénéfice/risque pour le patient. Son utilisation induit-elle une augmentation du risque de développer un cancer, en particulier pour les enfants ?

Des études épidémiologiques ont été lancées dans plusieurs pays et les premiers résultats publiés⁽²⁾ ont fait état d'excès de risques de cancer. Cependant, ces études disposaient de peu de données sur les doses reçues lors de l'examen et sur son motif, posant la question de la robustesse des résultats.

Évaluation rétrospective des doses

L'IRSN coordonne une étude en France sur une cohorte appelée « Enfant Scanner », avec une évaluation rétrospective des doses reçues lors des examens et, pour la première fois, la prise en compte de données cliniques dont certains facteurs de prédisposition au cancer. Cette cohorte inclut des enfants nés après 1995 et ayant eu au moins un scanner à partir de 2000 dans l'un des 21 centres de radiologie hospitaliers partenaires du projet. Les enfants ayant eu un cancer sont identifiés grâce au registre national des cancers de l'enfant⁽³⁾.

Des premiers résultats ont été obtenus, dans le cadre de la thèse de Neige Journy, pour 67 274 enfants exposés à un scanner avant l'âge de 10 ans entre 2000 et 2010. À partir des données hospitalières collectées⁽⁴⁾, la doctorante a identifié ceux (2,6 %) présentant un facteur de prédisposition au cancer. Elle a calculé l'incidence des cancers dans cette cohorte entre 2000 et 2011. Par ailleurs, les doses cumulées de rayons X délivrées à certains organes ont été reconstituées.



© Philippe Castano/IRSN

Sur la base de ces données, N. Journy a étudié la relation entre le risque de développer les cancers les plus fréquents et la dose cumulée reçue au cerveau et à la moelle osseuse. Pour les enfants sans facteur de prédisposition au cancer, le risque pour une dose de 10 mGray est augmenté de 7 % (hazard ratio⁽⁴⁾ de 1,07 avec intervalle de confiance (IC) à 95 % de 0,99-1,1) pour les tumeurs cérébrales et de 16 % (HR de 1,16 avec IC95 % de 0,77-1,27) pour la leucémie. Ceux présentant un facteur de prédisposition ne voient pas leur risque de cancer radio-induit augmenter, probablement parce qu'il existe une mortalité précoce plus importante dans ce groupe, liée à d'autres maladies. Ces résultats sont cohérents avec ceux publiés par d'autres équipes. Ils ne sont cependant pas statistiquement significatifs car la durée de suivi de la cohorte est encore courte et son effectif limité compte tenu du niveau de risque à discriminer. Ces résultats seront confirmés par un suivi prolongé et par leur agrégation à l'étude européenne EPI-CT.

Exposition CHRONIQUE à faible dose au STRONTIUM 90 et SYSTÈME immunitaire

Sur les territoires contaminés par des accidents nucléaires, des radioéléments persistent à faibles doses dans l'environnement. Leur effet sur la santé est une préoccupation forte. Une thèse menée récemment donne un éclairage sur les effets du strontium 90.

De nombreuses études ont été réalisées chez des populations vivant sur les territoires contaminés par l'accident de Tchernobyl. Elles ont montré des perturbations du système immunitaire portant sur le nombre de lymphocytes T CD4+ ou CD8+, sur le rapport CD4/CD8, sur des modifications de la réponse à différents stimulants ou encore sur des variations de la concentration en immunoglobulines dans le sang. Ces modifications ont souvent été associées à l'exposition au césium 137 (¹³⁷Cs), principal contaminant des sols.

Sur le système immunitaire

Or plusieurs programmes expérimentaux⁽¹⁾ menés notamment à l'IRSN chez la souris contaminée *via* l'eau de boisson ont montré que le ¹³⁷Cs n'avait pas d'effets sur les paramètres descriptifs et fonctionnels du système immunitaire des animaux contaminés. D'autres radionucléides que le ¹³⁷Cs pourraient donc être impliqués. Or le strontium 90 (⁹⁰Sr) rémanent à long terme a été retrouvé dans l'alimentation des populations. Une première thèse (N. Synhaeve en 2011) a montré qu'une ingestion chronique de ce radionucléide a un effet sur la physiologie osseuse mais aussi, et surtout, sur le système immunitaire lorsqu'il est associé à une autre stimulation. En effet, si les animaux contaminés par le ⁹⁰Sr sont vaccinés avec de la toxine tétanique, une diminution importante (de 30 à 60 %) de la quantité d'immunoglobulines spécifiques est observée par rapport aux animaux témoins.

Stockage du ⁹⁰Sr dans l'os

Afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à ces perturbations du système immuni-

taire et de la physiologie osseuse, des contaminations chroniques au strontium ont été réalisées sur des cellules et chez la souris, dans le cadre de la thèse de S. Musilli.

Les résultats montrent que le stockage du ⁹⁰Sr dans l'os induit une irradiation des cellules de la bordure osseuse, avec le développement d'un stress oxydant et l'apparition de dommages à l'ADN. Un vieillissement accéléré (sénescence cellulaire) en réponse à l'irradiation a également été observé *in vitro* aussi bien qu'*in vivo*, accompagné d'une

Les souris ont été contaminées au strontium par l'eau de boisson dans le cadre du travail de thèse de S. Musilli.

© Laurent Zylbermann/Graphix-Images/IRSN



modification de la fonctionnalité des cellules, telle que la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires. Or, les cellules de la bordure osseuse comprennent en particulier les cellules souches à l'origine du système immunitaire et les cellules qui régulent la différenciation précoce de ces cellules souches. Une modification de la fonctionnalité de ces cellules pourrait expliquer les effets observés sur le système immunitaire.

Ces résultats suggèrent que le ⁹⁰Sr pourrait être responsable, au moins en partie, de certains effets sanitaires (par exemple, augmentation de la fréquence des allergies) observés chez certaines populations vivant sur les territoires contaminés par les accidents nucléaires majeurs.

Pr Saadia Kerdine-Romer, UMR 996, université Paris-Sud, Châtenay-Malabry, co-directrice de la thèse

CONTACT

Jean-Marc Bertho
jean-marc.bertho@irsn.fr

Laboratoire de radiotoxicologie expérimentale - LRTOX

⁽¹⁾ Dans les premières études, les souris ont ingéré quotidiennement environ 100 Bq/jour de ¹³⁷Cs (Bertho et coll., 2011).

PUBLICATION

• Étude des mécanismes d'action du Strontium 90 sur le système immunitaire à la suite d'une contamination chronique, thèse soutenue par Stefania Musilli le 30 mars 2016 à l'IRSN, à Fontenay-aux-Roses.



Modéliser LE REFROIDISSEMENT D'UNE GAINÉ lors d'un RIA

 Institut de mécanique des fluides de Toulouse (IMFT)

CONTACT

Pierre Ruyer
pierre.ruyer@irsn.fr

Laboratoire incertitude et modélisation des accidents de refroidissement - LIMAR

⁽¹⁾ Programme NSSR mené par la Japan Atomic Energy Agency (JAEA) et programme PATRICIA mené par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) pour le compte de l'IRSN.

⁽²⁾ Thèse soutenue par Roberta Visentini (26/10/2012 à Toulouse) lors de laquelle un dispositif expérimental a été élaboré.

PUBLICATION

• Étude expérimentale et modélisation de l'ébullition transitoire, thèse de l'université de Toulouse soutenue par Nicolas Baudin le 26 octobre 2015.



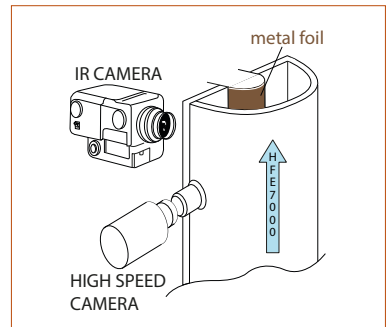
Dans le cadre de sa mission d'expertise, l'IRSN évalue la tenue mécanique des crayons de combustible nucléaire en situation normale ou accidentelle. Les différents régimes de refroidissement des crayons durant un accident de réactivité^{GLO} viennent d'être finement étudiés et modélisés afin de pouvoir prédire l'éventuelle rupture de leur gaine.

La gaine est la première barrière de sûreté qui, dans le réacteur nucléaire, confine le combustible et les produits de fission, évitant leur dissémination. Or pendant un accident de réactivité^{GLO} (RIA), la gaine est portée à très haute température et peut perdre son étanchéité si elle n'est pas rapidement refroidie par l'eau qui l'entoure. Des essais⁽¹⁾ réalisés au début des années 2000 ont montré que les mécanismes de refroidissement mis en jeu étaient intensifiés par la cinétique d'échauffement de la gaine. Une thèse menée par Nicolas Baudin à l'IRSN a permis de mieux comprendre et modéliser cette dépendance. L'expérience qu'il a analysée, conçue lors d'une précédente thèse⁽²⁾, lui a permis d'étudier finement les trois régimes de refroidissement de la gaine qui se succèdent lors d'un RIA.

stopper l'échauffement de la gaine, ce qui conduit à un troisième régime avec la formation d'un film de vapeur le long de la paroi. Ce dernier étant isolant, le transfert thermique chute brutalement. N. Baudin a modélisé ce régime en décrivant l'écoulement et la thermique au sein du film de vapeur. Les modèles ainsi établis permettent d'estimer la température d'une paroi soumise à des cinétiques rapides de chauffe, à l'instar d'une gaine durant un RIA, et notamment la durée pendant laquelle elle atteint des températures élevées (donnée essentielle pour étudier le risque de rupture). Le résultat des prédictions numériques concorde avec les mesures de température et l'observation expérimentale de l'écoulement. Une nouvelle thèse commencée en 2015 va compléter les données expérimentales pour conforter les modèles développés par N. Baudin. Ils seront *in fine* intégrés au logiciel SCANAIR pour améliorer la modélisation du comportement de la gaine combustible lors d'un RIA.

Cinétique rapide de chauffe

Le premier régime précède l'ébullition. N. Baudin a identifié l'origine et quantifié l'intensification de l'échange thermique due à la rapidité de l'échauffement (de l'ordre de 1 000 K/s) de la paroi. Ceci l'a conduit à modéliser le refroidissement en prenant notamment en compte les temps nécessaire à l'échauffement du liquide au voisinage de la gaine. Le deuxième régime de refroidissement débute au déclenchement de l'ébullition en paroi. N. Baudin a adapté la modélisation de ce déclenchement (qui dépend classiquement de la rugosité de la paroi, du débit et de la température du fluide) pour prendre en compte la cinétique rapide de chauffe. Il a par ailleurs montré que la cinétique rapide intensifie également les transferts de chaleur vers le fluide en ébullition. Dans certains cas, cette intensification du transfert de chaleur n'est cependant pas suffisante pour



L'expérience mise au point durant la thèse de R. Visentini comprend un système de chauffe dont la cinétique rapide est similaire à celle d'un RIA. Elle a été conçue de manière à permettre des mesures non intrusives et précises de l'échauffement de la paroi par caméra à infrarouge.

© IRSN

PRIX

UN BEST POSTER AWARD POUR UN DOCTORANT DU LNR

Vaibhav Jaiswal, doctorant en première année au Laboratoire de recherche et d'expertise en neutronique des réacteurs (SNC-LNR) de l'IRSN, a reçu le prix du meilleur poster (Best Poster Award) lors du dernier ISIS Neutron Training Course qui s'est tenu du 12 au 21 avril 2016. La thèse de Vaibhav Jaiswal porte sur les données nucléaires de thermalisation des neutrons dans l'eau, dans des conditions de température et de pression représentatives des réacteurs à eau sous pression (REP).

SOUTENANCES

HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES (HDR)

- **François-Xavier Ouf** a soutenu son HDR *Impact des aérosols émis lors d'un incendie sur le confinement des installations nucléaires*, le 5 février 2016 au Centre d'études nucléaires de Saclay.
- **Hugues Pretrel** a soutenu son HDR *Étude de la dynamique des incendies en milieu confiné et mécaniquement ventilé*, le 27 janvier 2016 à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

THÈSES

Cinq thèses ont été soutenues au début de l'année 2016.

- *Rôle de la neurogenèse au cours du développement dans les troubles comportementaux induits par l'uranium*, par **Marie Legrand** le 31 mars 2016 à Fontenay-aux-Roses.
- *Étude expérimentale de l'écoulement de convection mixte à travers un orifice horizontal reliant deux compartiments*, par **Kévin Varrall** le 31 mars 2016 à Marseille.
- *Étude des mécanismes d'action du Strontium 90 sur le système immunitaire à la suite d'une contamination chronique*, par **Stefania Musilli** le 30 mars 2016 à Fontenay-aux-Roses.
- *Analyse d'incertitude en situation accidentelle. Transport de radionucléides dans l'environnement et évaluation de l'exposition humaine par voie alimentaire*, par **Mouhamadou Moustapha SY** le 21 mars 2016 à Saint-Paul-lez-Durance.
- *Contribution expérimentale à l'étude thermodynamique des systèmes Ag-Zr et Ag-Cd-In*, par **Alexandre Decreton** le 17 mars 2016 à Saint-Paul-lez-Durance.

SEMINAIRE

ACCIDENTS GRAVES DE RÉACTEUR NUCLÉAIRE : L'IRSN A ACCUEILLI UN SÉMINAIRE INTERNATIONAL SUR LA RÉTENTION DU CORIUM EN CUVE EN CAS DE FUSION DU CŒUR

Les 6 et 7 juin 2016, l'IRSN a accueilli à Aix-en-Provence (France) un séminaire scientifique international sur le thème « Stratégie de rétention du corium en cuve : état des connaissances et perspectives ». Plus de 120 personnes issues d'une vingtaine de pays, et représentant plus de 60 organisations différentes, ont participé à cet événement.

L'un des objectifs était de fournir des éléments pour l'orientation de nouveaux projets de recherche tels que le projet européen IVMR. Lancé en 2015 et piloté par l'IRSN, le projet IVMR vise à développer les connaissances et les outils permettant d'apprécier l'efficacité de mesures de stabilisation et de rétention du corium dans la cuve du réacteur lors d'un accident de fusion du cœur.

PUBLICATION

UN NOUVEL OPUS DE LA COLLECTION HDR

Le mémoire de l'habilitation à diriger des recherches, que **Frédérique Eyrolle-Boyer** a soutenue le 17 novembre 2015 au Cerege (Centre européen de recherches et d'enseignement des géosciences de l'environnement), vient de paraître. Intitulé *Origine, comportement et devenir des radionucléides en milieu*

aquatique continental, il est le huitième ouvrage de cette collection qui met en lumière les talents et travaux de recherche de l'IRSN.



En savoir plus sur les actualités scientifiques



En savoir plus sur les soutenances de HDR et de thèses



En savoir plus sur la collection des ouvrages IRSN



ACCIDENT

DE REACTIVITÉ : Accident d'injection de réactivité ou RIA (*Reactivity Initiated Accident*). Il résulte de la défaillance d'un mécanisme pilotant une grappe de commande, qui contribue à la régulation de la réaction nucléaire. Il se traduit par une rapide et violente génération d'énergie au sein du combustible.

BACCARA :

Banc de calibrage du radon. Instrument de l'IRSN.

COMSOL MULTIPHYSICS :

Plate-forme logicielle générale de modélisation et de simulation de phénomènes physiques à l'aide de méthodes numériques aux éléments finis.

ENEA :

Agence italienne pour les nouvelles technologies, l'énergie et l'environnement.

HAZARD RATIO :

Augmentation du risque lié à une augmentation de la dose reçue de 10 mGy.

ICP-MS :

Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ou spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif.

MCNPX (MONTE CARLO N-PARTICLE EXTENDED) :

Logiciel de simulation probabiliste de transport des particules dans la matière.

POUVOIR**DE PÉNÉTRATION****DES RAYONNEMENTS** :

Les rayonnements gamma ont un fort pouvoir de pénétration, qui dépend de leur énergie, de plusieurs centaines de mètres dans l'air. Ils sont arrêtés par du béton ou du plomb. Les rayonnements alpha ont une très faible pénétration dans l'air et sont arrêtés par une feuille de papier. Les rayonnements bêta ont une pénétration de quelques centimètres dans l'air et sont arrêtés par quelques centimètres d'aluminium.

TECHNIQUE DE**MINÉRALISATION** :

Mise en solution des échantillons solides et élimination de la matière organique.

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) est un organisme public d'expertise et de recherche pour la sûreté et la sécurité nucléaires et la radioprotection. Il intervient comme expert en appui aux autorités publiques. Il exerce également des missions de service public qui lui sont confiées par la réglementation. Il contribue notamment à la surveillance radiologique du territoire national et des travailleurs, à la gestion des situations d'urgence et à l'information du public. Il met son expertise à la disposition de partenaires et de clients français ou étrangers.

Pour consulter la version numérique d'Aktis, accéder aux publications scientifiques et aux informations complémentaires en ligne, et pour s'abonner, rendez-vous sur le site Internet de l'IRSN : www.irsn.fr/aktis

**SIÈGE SOCIAL**

31 avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
France
RCS Nanterre B 440 546 018

TÉLÉPHONE

+33 (0)1 58 35 88 88

COURRIER

BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex - France

SITE INTERNET

www.irsn.fr